

特殊エジェクターを用いた ダム貯水池の堆砂移動工法

中村雄二¹・山下徳次郎²・加来睦宏³・山上裕也³
黒木修身⁴・角哲也⁵・岡部俊男⁶・天明敏行⁷

¹株式会社間組 九州支店土木部（〒812-8562 福岡県福岡市博多区下呉服町 1-1）

²西技工業株式会社 土木部（〒810-0004 福岡県福岡市中央区渡辺通二丁目 9-22）

³九州電力株式会社 耳川水力整備事務所（〒883-8533 宮崎県日向市北町一丁目 112 番地）

⁴西日本技術開発株式会社 土木本部（〒810-0004 福岡県福岡市中央区渡辺通一丁目 1-1）

⁵正会員 工博 京都大学防災研究所 水資源環境研究センター（〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄）

⁶株式会社間組 九州支店土木営業部（〒812-8562 福岡県福岡市博多区下呉服町 1-1）

⁷正会員 工博 株式会社間組 本店土木事業本部技術第三部（〒105-8479 東京都港区虎ノ門二丁目 2-5）

ダム貯水池の堆砂対策では、土砂の掘削・浚渫方法と輸送方法、処理方法を含めた一連のシステムについて、効率的かつ周辺環境に十分配慮した方法を採用することが望ましい。ここでは、経済的で汎用性の高い土砂移動システムの開発を目的とし、特殊エジェクターを用いた吸引・輸送システムの試験施工について述べる。試験施工で対象としたダム堆砂は最大粒径が150mm～300mmの砂礫土砂であり、吸引試験と輸送試験によりシステムの有効性を実証した。吸引試験では水深5m程度の堆積土砂を時間当たり35m³程度で効率よく吸引できること、また輸送試験では、ホップ投入した砂礫土砂を1000mまで輸送できることを確認した。

キーワード:ダム堆砂、特殊エジェクター、砂礫ポンプ

1. はじめに

ダム貯水池の堆砂は、貯水池容量の減少、上流河床の上昇、下流河床の低下や海岸線の後退、生物環境へ影響を及ぼす。従って、貯水池自体の機能の維持やダム及び河道管理上の安全確保、流域管理の視点から堆砂に関する対策が必要である。

堆砂対策には多数の工法があるが、日本で実施されている堆砂対策のほとんどは掘削・浚渫によるものである¹⁾。浚渫工法のうち、ポンプ浚渫は連続的に土砂を吸引・輸送できるため効率が良く、特に浚渫後の水処理が不要な湖内移動では適用性の高い工法であるといえる。

一方、インペラー方式の水中サンドポンプによる浚渫でシルト分の少ない砂礫土砂を吸引する場合には、浚渫後の水処理は容易であるが、ポンプの磨耗性が問題となる。また、ダム貯水池の堆砂にはごみや木片も含まれており、従来のポンプ浚渫ではこれら異物に対する適用性も課題であった。

そこで、ダム貯水池の砂礫質の堆砂をポンプ工法

で移動することを目的とし、特殊エジェクターを用いた砂礫ポンプシステムの開発を行った。エジェクターは高压のジェット水を利用して負圧を発生し、土砂を吸引・輸送するポンプであり、閉塞や磨耗に対して抵抗力が高い²⁾。

砂礫ポンプシステムは最大粒径が150mm程度の砂礫を想定しており、大口径のエジェクターを市場からリースで調達することは不可能であったため、超高压ポンプや特殊エジェクターは新しく開発を行った。

ここでは、特殊エジェクターを用いた砂礫ポンプシステムの試験施工について述べる。

2. 試験概要

(1) 特殊エジェクターの概要

特殊エジェクターとはノズルから高压水を噴出させ、そのエネルギーによって他の流体を吸引搬送するものである。イメージを図-1に示す。流体通過経

路にインペラー等の回転部をもたないシンプルな構造であり，詰まりにくいことや管理が容易といった利点を有する²⁾。

試験施工で開発した砂礫ポンプシステムは，特殊エジェクターを利用したポンプであり，これまでにない大口径の内管を用いている点やノズル部に少量の空気を導入する点などが通常のエジェクターと異なる．外部空気の導入はキャビテーションの発生によるノズル部の腐食防止に有効であり，内管の利用はその交換の容易性から管の磨耗対策として効果がある．特殊エジェクターの外観を写真-1に示す．

(2) 特殊エジェクターを用いた砂礫ポンプシステム

特殊エジェクターを用いた砂礫ポンプシステムは，特殊エジェクターのほか，超高压ポンプや各種配管から構成される．

超高压ポンプは，1800回転／分で揚程1.5MPa，流量 $5\text{m}^3/\text{min}$ の送水が可能である．これに220kw相当の大型トラック用エンジンを動力として取付けて組立てた．その外観を写真-2に示す．

砂礫を長距離輸送する場合には，排砂管に空気を混入し，水と土砂，空気の3層流として輸送すると効率がよいことが研究されている．本試験施工では特殊エジェクターの先に空気挿入管を設置し，コンプレッサーを用いて空気の圧送を行った．

(3) 吸引試験と輸送試験

試験施工はダム貯水池内の堆積土砂を吸引する吸引試験と一度陸揚げした土砂をエジェクターに投入して輸送する輸送試験を行った．

吸引試験では貯水池内の堆砂を除去，もしくは湖内移動をする工法の技術開発を目的としており，輸送試験では貯水池内の底質の改良を行う覆砂工法などの技術開発を目的としている．

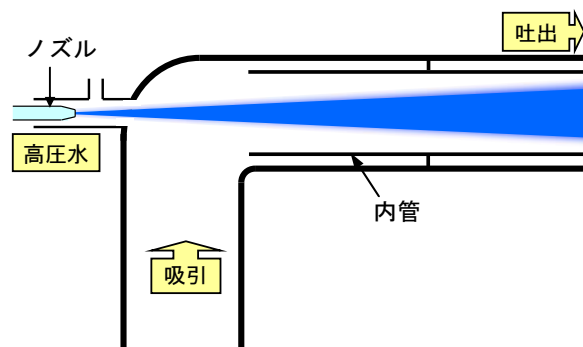


図-1 特殊エジェクターのイメージ



写真-1 特殊エジェクター



写真-2 超高压ポンプ



写真-3 吸引試験全

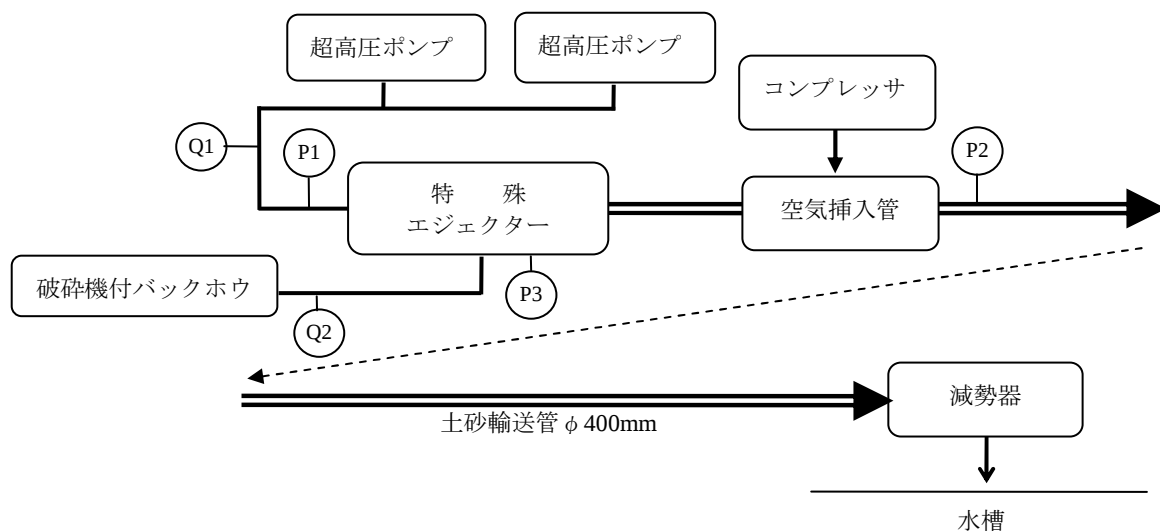


図-2 機械配置（吸引試験）



写真-4 浚渫台船



写真-5 特殊エジェクター部



写真-6 スクリーパー破碎機



写真-7 スクリーパー破碎機付ロングアームバックホウ

3. 吸引試験

(1) 吸引システム

吸引試験の全景を写真-3に示す。吸引システムでは、超高压ポンプや特殊エジェクターなどで構成さ

れる砂礫ポンプシステムを浚渫台船上に設置した。吸引試験の機械配置を図-2に、浚渫台船を写真-4に、特殊エジェクター周辺の配管状況を写真-5に示す。

吸引はスクリーパー破碎機を搭載したロングアームバックホウを用いて行った。スクリーパー破碎機はスクリーパーの軸が円錐形になっており、取込んだ石を

軸と筒の間で破碎する構造になっている。最大直径300mm程度までの玉石を取込むことが可能であるが、全ての石を破碎することは困難であるため、破碎できない石は直ちに逆回転で排出できる構造になっている。スクリー破碎機とそれを設置したロングアームバックホウを写真-6、写真-7にそれぞれ示す。

土砂の輸送管は直径400mmの鋼管を使用した。1本の長さは6.0mであり、フランジでボルト連結した。水面に浮かせて配管するため、1本につき2個のフロートを設置して貯水池に配管した。

また、浚渫した土砂は大型水槽、沈殿池からなる土砂荷揚げ場に排出した。

(2) 試験方法

試験は水深4～9m、吸引管の長さ5m、10m、15m、20m、輸送距離を200m、400mとして実施した。また、駆動ポンプの台数を2台のほか1台や3台としたケースも実施した。

また試験では、水深が深くなった場合にエジェクターを水中に設置して吸引管を短くすることを想定した試験も行った。

試験はスクリー破碎機の改良、調整などを実施しながら、全58ケースの試験を実施した。

測定項目は、電磁流量計による超高压ポンプの流量 Q_1 (m^3/min)、駆動水の水圧 P_1 (MPa)、輸送管始点での圧力 P_2 (MPa)、吸引量 Q_2 (m^3/min)、エジェクター内の負圧 P_3 (MPa) である。設置位置は図-5に示している。

(3) 試験結果

駆動ポンプは2台を基本として使用した。一部で計測器の不具合があったが、ポンプ2台使用時のポンプ圧力 P_1 は1.40～1.55MPaであり、その流量 Q_1 は10～11 m^3/min であった。また、輸送管始点の圧力 P_2 は0.08～0.18MPaであり、エジェクター内の負圧 P_3 は-0.04～-0.08MPaであった。吸引量 Q_2 は7.9～12.0 m^3/min であった。

水深と土砂輸送量の全データを図-3に示す。土砂輸送量は陸揚げされた土砂のかさ容積である。水深と土砂輸送量では、水深が深くなると土砂輸送量が減少する傾向にある。ただし、ばらつきも大きい。水深が深くなると土砂輸送量を減少させる原因として、以下の2点が考えられる。

①吸引管が長くなり水頭損失が増加し、土砂を引き上げるための吸引量、吸引力が小さくなった。

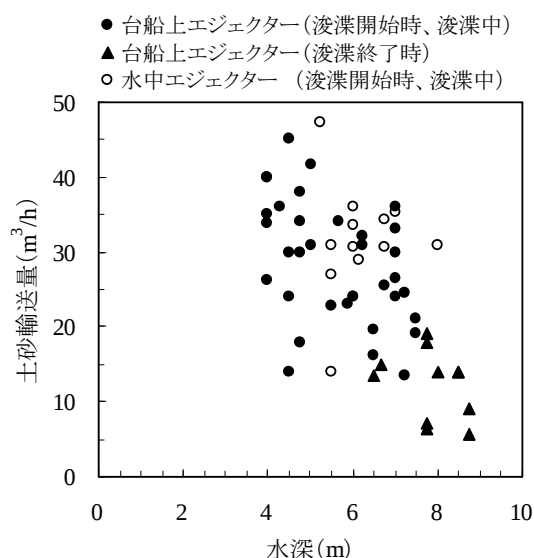


図-3 水深と土砂輸送量

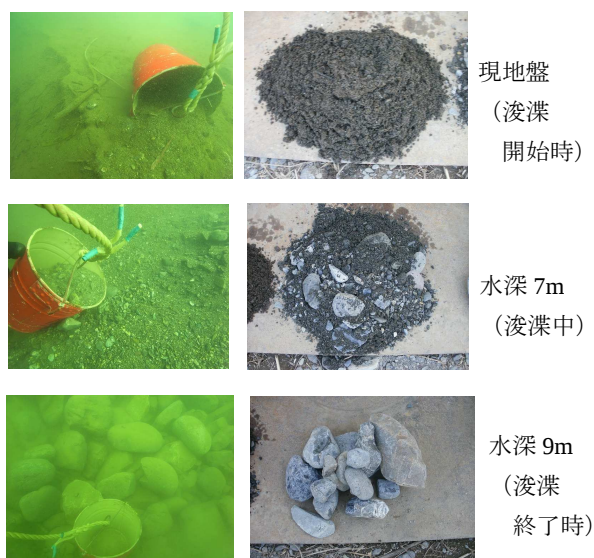


写真-8 河床状況



写真-9 吸引・輸送された石や異物

②浚渫が続いた結果としての水深の増加であり、河床の粒度が変化した。すなわち、浚渫面への玉石の集中が進行した。

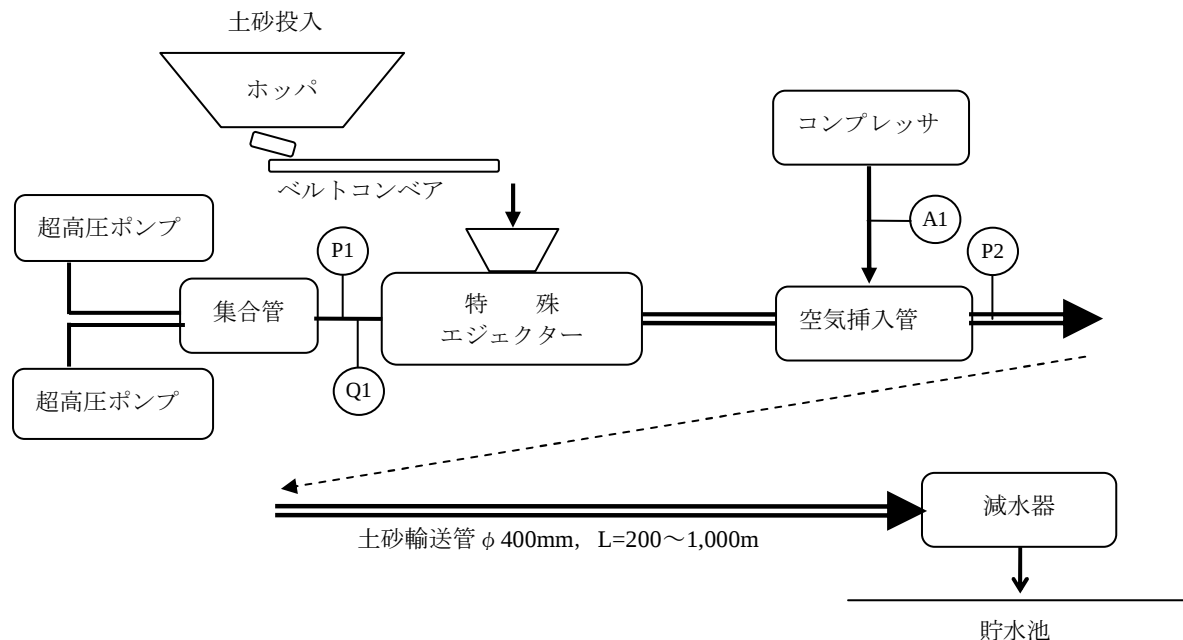


図-4 機械配置（輸送試験）

このうち①について、吸引管が20mのときには、土砂輸送量が $25\text{m}^3/\text{h}$ 程度を超えると閉塞が頻繁に発生するようになった。図-3の水中エジェクターの試験結果が良好な結果を示しているように、吸引管の長さは短い方が有利であるといえる。

②については、浚渫時の河床の観察結果を写真-8に示すが、河床の状況が吸引に際して大きな影響を及ぼしていることがわかる。

今回の試験では輸送距離が200mと400mにおいて、顕著な差が認められなかった。また、吸引量と土砂輸送量にも相関はなく、土砂輸送量を向上するためには、吸引管を短くして閉塞を防止するとともに、浚渫面の玉石の集中を防いで吸引部の効率を向上することが重要であることがわかった。

吸引試験での吸引物の例を写真-9に示す。最大粒径は200mm、長さ500mm程度の沈木や自動車のタイヤのような異物まで吸引・輸送されていたことが判明した。

4. 輸送試験

(1) 輸送システム

輸送試験の機械配置を図-4に示す。超高圧ポンプ、特殊エジェクター、コンプレッサなどからなるポンプシステムは写真-10に示すポンプ台船に設置し、土砂供給用のホッパやベルコンも同じ台船に設置した。

排砂管は吸引試験と同じ鋼管を使用した。延長は最大1000mまでとしている。



写真-10 ポンプ台船



写真-11 撒布台船

試験では、貯水池内に土砂を排出するため、写真-11に示す撒布台船を設置した。撒布台船は4箇所ワイヤーを設置し、ウインチで台船の移動を操作できるようにした。排砂管の先端部にはサイクロンと呼ばれる減勢器を設置した。

また、濁水の発生を抑制するため、汚濁防止膜を

2重に設置した。内側の汚濁防止膜は排出口の周りに設置し、その外側に台船を囲うように設置している。汚濁防止膜の高さは水面から5mとした。

(2) 試験方法

対象土砂は同じ河川上流部の貯水池内に堆砂している砂礫を用いた。巨礫が含まれていることから、閉塞を防止するために予めふるいを用いて分級した。また、濁水の発生を抑制するため、簡易的に洗浄を行った。

使用した土砂は120mmのふるい目で分級した「粒径150mm」、80mmのふるい目で分級した「粒径100mm」の2種類を用いた。土砂の粒度分布を図-5に示す。

試験は輸送距離、土砂の粒度、エジェクターのノズルや内管の直径を変えて行った。測定項目は、電磁流量計による超高压ポンプの流量 Q_1 (m^3/min)、輸送管始点の圧力 P_2 (MPa) である。土砂輸送量 S (m^3/h) は、時間当りホッパーに投入した土砂のかさ容積である。

(3) 試験結果

輸送距離別の輸送管始点の圧力 P_2 と土砂輸送量 S の関係を図-6に示す。距離別では、始点圧力と土砂輸送量は比例の関係にある。輸送管の始点で高い圧力を示したケースほど土砂輸送量は大きい結果であった。また、土砂輸送量と始点圧力 P_2 を距離 L で除した値の関係を図-7に示す。土砂輸送量は始点圧力が高いほど増加するが、輸送距離には反比例することがわかる。なお、超高压ポンプの流量 Q_1 は8~11 m^3/min であった。

輸送距離別の最大輸送量は600mで約50 m^3/h 、1,000mで約30 m^3/h であった。

5. まとめ

特殊エジェクターを用いたダム貯水池内の砂礫を対象とした堆砂土砂の吸引・輸送試験の結果、水深4~6m程度なら約35 m^3/h 程度の吸引が可能であることが確認できた。土砂輸送量は水深が深くなるに従い減少するが、吸引管を短くすることと、浚渫の進行と共に河床に堆積する巨礫を適切に除去していくことが対策として考えられる。

また、最大粒径が150mm程度の砂礫土砂に対して特殊エジェクターを用いた砂礫ポンプによる輸送試験を行った結果、直径400mmの輸送管を用いた場合、

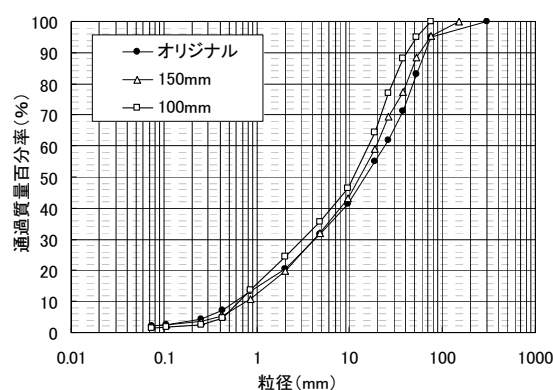


図-5 土砂の粒度分布

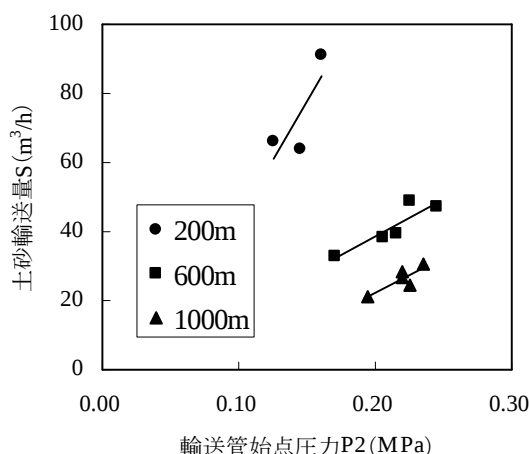


図-6 輸送管始点圧力 P_2 と土砂輸送量 S

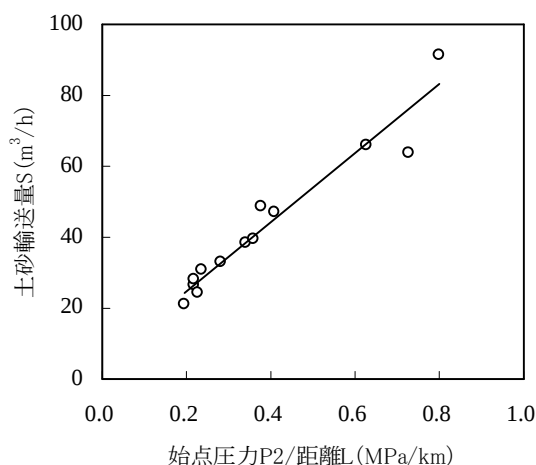


図-7 輸送管始点圧力 P_2 /輸送距離 L と土砂輸送量 S

配管延長600mで約50 m^3/h 、1,000mで約30 m^3/h の輸送能力があることを確認した。

以上の土砂吸引・輸送システムは、水中に堆積した土砂を貯水池運用に大きく制約を与えずに効果的に採取・輸送することで、ダム貯水池の堆砂対策として有効であるとともに、ダム下流河川に採取した土砂を供給することで河川の環境改善にも資する工法として今後の発展が期待される。

参考文献

- 1) 日本大ダム会議土砂管理分科会：貯水池の土砂動態と土砂制御方法，大ダムNo.212，pp.10-129，2010.7
- 2) Temmyo, T. et al., Enhancement of Hydrological Safety of Dams by New Sediment Transportation System “SAND STORM”. International Symposium for the 6th EADC, pp.183-190, 2009.